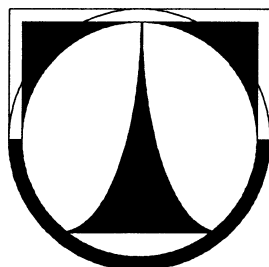


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
FAKULTA STROJNÍ  
Katedra vozidel a motorů



**Měřicí trat' pro zjišťování vlastností kanálů pístových  
spalovacích motorů**

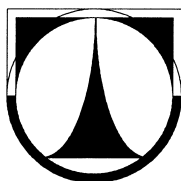
**The measuring track for checking characters of the channels of pistons  
engines**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Petr Chaura

Květen 2008

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA STROJNÍ**  
Katedra vozidel a motorů



Obor B2341  
Strojírenství  
Zaměření  
2301R022 Stroje a zařízení  
dopravní stroje a zařízení

**Měřicí trat' pro zjišťování vlastností kanálů pístových  
spalovacích motorů**

**The measuring track for checking characters of the channels of pistons  
engines**

Diplomová práce

Petr Chaura

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Lubomír Moc, CSc.  
Konzultant diplomové práce: Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.

Počet stran: 47  
Počet obrázků: 20  
Počet výkresů: 19

Květen 2008

# **Měřicí trať pro zjišťování vlastností kanálů pístových spalovacích motorů**

## **Anotace**

Bakalářská práce řeší návrh konstrukce a prostorové zástavby prvků měřicí trati. Součástí práce je popis úprav stávající nepoužívané stolice na seřizování vstřikovacích čerpadel nafty Motorpal NC 104, výběr a konstrukční úprava vhodného dmyhadla vzduchu, návrh konstrukce univerzálního zařízení na ovládání ventilů v hlavách motorů, návrh dalších prvků měřicí kanálové trati jako jsou redukce, uklidňovací komora, potrubí na vedení vzduchu, návrh potřebných měřících a záznamových zařízení, návrh a programování jednoduchého software na výpočet průtokového součinitele a vírového čísla. Součástí práce jsou i návrhy alternativního řešení typu dmyhadla, jeho pohonu, výměnných součástí pro upínání různých typů hlav motorů a drobného příslušenství.

**Klíčová slova:** PSM, měřicí trať, kanál, průtokový součinitel, vírové číslo, ovládání otevírání ventilu, Motorpal NC 104, dmyhadlo, clonka, anemometr, tlakoměry

## **The measuring track for checking characters of the channels of pistons engines**

## **Annotation**

The Bachelor Thesis deals with the design and the layout of components of a measuring track. The thesis presents the amendments description of an existing unused stand for the adjustment of injection pumps of diesel Motorpal NC 104. The amendments include the choice and the design amendment of a suitable air blower, the design of an universal device for the operating of valves in the heads, the suggestion of other components of the measuring canal track such as the reductions, the stilling chamber, the piping for air, the design of the needed measurement-and-record devices and a suggestion of a simple software for the calculation of the orifice coefficient and the vortex number. The thesis also contains a concept of the alternative solution of blower type, its drive, exchangeable parts for mounting of various head types and small accessories.

**Key words:** pistons engine, measuring track, canal, orifice coefficient, vortex number, operating of the valves-opening, Motorpal NC 104, blower, screening, anemometer, barometer

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů  
Dokončeno : 2008  
Archivní označení zprávy:

## Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne 1. května 2008

.....

Petr Chaura

## **Poděkování**

V první řadě bych rád poděkoval vedoucímu této bakalářské práce Doc. Ing. Lubomíru Mocovi, CSc, a konzultantovi Prof. Ing Stanislavovi Berounovi CSc, za příkladné podněty a připomínky, potřebné pro vypracování této práce.

## Seznam symbolů a jednotek

$d_v$ [m]	střední průměr dosedací plochy sedla ventilu
PSM	pístový spalovací motor
$m$ [kg/s]	okamžitá průtoková hmotnost
$m_{\text{skut}}$ [kg/s]	skutečná průtoková hmotnost
$m_{\text{teor}}$ [kg/s]	teoretická průtoková hmotnost
OHC	ventily ovládané vačkovou hřídelí v hlavě
OHV	ventily ovládané shora
ot/min	otáček za minutu
$h_v$ [m]	zdvih ventilu
$k$	adiabatický exponent
$m$ [kg]	okamžitá průtoková hmotnost
$n$ [1/min]	otáčky motoru
$n_j$ [1/min]	otáčky anemometru
$\delta_{\text{pcl}}$ [Pa]	tlakový spád na clonce
$\delta_{\text{pk}}$ [Pa]	tlakový spád na kanále
$p_b$ [Pa]	barometrický tlak
$p_{1c}$ [Pa]	tlaková ztráta v kanále
$w_{is}$ [m/s]	izoentropická rychlost
$I$ [kgm <sup>2</sup> ]	hmotný moment setrvačnosti
$Q$ [m <sup>3</sup> ]	okamžitý průtokový objem
$R_v$ [J/kmol K]	univerzální plynová konstanta
$S_v$ [m <sup>2</sup> ]	průřezová plocha ventilem
$T_0$ [K]	teplota nasávaného vzduchu
$\Omega$ [1/s]	úhlová rychlost víru
$\mu$	průtokový součinitel
$v$	vírové číslo
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	hustota vzduchu
$\pi_v$	tlakový spád na ventilu
PC	počítač
obr.	obrázek
www	world wide web



# Obsah

1 Úvod .....	10
2 Teorie měření parametrů kanálů .....	20
2.1 Průtokový součinitel.....	20
2.2 Vírové číslo .....	22
3 Návrh měřicí tratě.....	26
3.2 Dmychadlo .....	28
3.1 Stanice Motorpal .....	29
3.3 Držák dmychadla.....	31
3.4 Upínání motorových hlav do přípravku a ovládání otevření ventilu .....	32
3.4.1 Základní deska.....	34
3.4.2 Otočná deska .....	34
3.4.3 Rameno.....	35
3.4.4 Tlačný člen .....	35
3.4.5 Seřizovací šroub s maticí.....	36
3.4.6 Kinematické schéma.....	39
3.5 Zkušební komora.....	39
3.6 Podstava .....	40
3.7 Uklidňovací objem .....	41
3.7 Komora s clonkou .....	42
3.6 Osazení měřicím zařízením .....	44
3.6.1 Impulsní anemometr.....	45
3.6.2 Lineární odměřovací pravítko .....	45
3.5.3 Snímače tlaku .....	46
3.6.4 Teploměry .....	46
3.6.5 Clonky .....	47
3.8 Počítačové vybavení.....	47
3.8.1 Software .....	48
4 Postup při měření .....	50
4.1 Příprava pro měření .....	50
4.2 Upevnění zkoušené hlavy PSM do kanálové trati a příprava mechanismu .....	51
5 Alternativní řešení .....	53
5.1 Dmychadlo a jeho pohon.....	53
5.2 Tlačný člen .....	53
6 Výkresy .....	54
7 Závěr.....	55
Seznam literatury a internetových odkazů .....	57

# 1 Úvod

Jedním z důležitých předpokladů dokonalého využití energie obsažené v palivu PSM je zajištění optimální přípravy směsi a její hoření. Na moderní spalovací motory jsou kladeny stále přísnější požadavky na vyšší výkony při snížení spotřeby i emisní zátěže. Podmínkou splnění všech těchto požadavků je dokonalé poznání proudění v sacím i výfukovém traktu i jejich návaznost na proudění ve spalovacím prostoru PSM.

Provedení sacích a výfukových kanálů má značný vliv na dopravní účinnost, tvorbu směsi ve válci, spalování vypláchnutí spalovacího prostoru i na úroveň hluku. Dva z několika sledovaných parametrů jsou i průtokový součinitel a vírové číslo. A právě konstrukce kanálové měřicí tratě, umožňující měření těchto dvou parametrů, je obsahem této bakalářské práce.

## 2 Teorie měření parametrů kanálů

Měření kanálů může probíhat buď jako nízkotlaké nebo vysokotlaké. Při nízkotlakých zkouškách se zjišťuje průběh průtočného množství vzduchu, průtokového součinitele a v případě sacích kanálů také průběh vírového čísla při konstantním podtlaku ve válci, v závislosti na zdvihu ventilu.

Při vysokotlakých zkouškách se tyto charakteristiky proměřují při různých podtlacích ve válci při největším možném rozsahu tlakových spádů na ventilu. Je-li znám průběh zdvihové křivky ventilu, lze vyhodnotit v závislosti na střední pístové rychlosti průběh středního podtlaku sání, středního přetlaku při výfuku a výkony potřebné pro nasátí ( $N_{1s}$ ) a vyfouknutí ( $N_{1v}$ ) jednoho litru náplně válce. Zároveň lze vyhodnotit průběh vírového čísla v závislosti na střední rychlosti průtoku válcem, za předpokladu že odpovídá střední pístové rychlosti.

Měření při nízkotlakých zkouškách se děje při změně průtočného průřezu změnou zdvihu ventilu při konstantním tlakovém spádu. Na velikosti odporového součinitele se podílí jak tvar kanálu tak i ventilu. Rychlost průtoku závisí na okamžitém otevření ventilu. V případě požadavku na konstantní rychlost průtoku by bylo nutné měnit tlakový spád v závislosti na odporovém součiniteli. Nízkotlaké zkoušky se nejčastěji provádí při podtlaku ve válci  $dp_v = 2,45$  kPa pro sací kanál. Rychlost průtoku ve válci pak odpovídá přibližné střední pístové rychlosti při maximálních otáčkách motoru.

### 2.1 Průtokový součinitel

Odpor kladený sacím traktem souvisí s problémem velikosti dopravní účinnosti. Rozhoduje o míře naplnění prostoru válce a tedy o hltnosti motoru. Zde se projevuje jednak součinitel kontrakce proudu a jednak rychlostní součinitel. Při nízkotlakých zkouškách nebudou změny rychlostního součinitele tak výrazné jako změna součinitele kontrakce, který je závislý na okamžité míře otevřenosti ventilu. Průtokový součinitel pak ovlivňují i drobné konstrukční úpravy, zejména takové které ovlivňují odtržení proudu vzduchu jako jsou tvary ventilů, dosedacích sedla nebo vzájemná poloha ventilu a stěny válce.

Průtokový součinitel kanálu vyjadřujeme poměrem skutečně protečeného množství vzduchu  $m_{skut}$  které lze naměřit pomocí kanálové tratě, a teoretického množství  $m_{teor}$ , které se určuje pro stlačitelnou tekutinu z okamžité průtočné plochy na ventilu a z tlakového spádu, za předpokladu adiabatického proudění. V případě malých tlakových spádů a přibližně izotermického děje je možno uvažovat i nestlačitelnou tekutinu. Za průtočnou plochu ve ventilu je uvažována válcová plochu, kde se za  $d_v$  dosazuje obvykle střední průměr dosedací plochy ventilu, a za  $h_v$  zdvih ventilu.

Průtočná plocha ventilu:

$$S_v = \pi \cdot d_v \cdot h_v \quad (1)$$

Průtokový součinitel:

$$\mu = \frac{m_{sk}}{m_{teor}} \quad (2)$$

Skutečná průtoková hmotnost pro dnou clonku je:

$$m_{sk} = 84,594 \cdot 1 - \frac{0,3131 \cdot \Delta p_{cl}}{p_b - p_{1c}} \cdot \Delta p_{cl} \cdot \rho_{cl} \quad (3)$$

Teoretická průtoková hmotnost:

$$m_{teor} = 3,14 \cdot d_v \cdot h \cdot \rho \cdot 3600 \cdot w_{is} \quad (4)$$

Isoentropická rychlost vzdušiny  $w_{is}$ :

$$w_{is} = \frac{2 \cdot k}{k - 1} \cdot r \cdot T_b \cdot 1 - \pi^{\frac{k-1}{k}} \quad (5)$$

Tlakový spád na ventilu:

$$\pi = \frac{p_b - \Delta p_k}{p_b} \quad (6)$$

Uzavírací číslo kanálu:

$$\sigma = \frac{4 \cdot h}{d_v} \quad (7)$$

Při měření za běžných podmínek je isoentropický exponent  $k = 1,41$ , plynová konstanta vzduchu  $r = 287,1 \text{ kJ/kgK}$ . Měření probíhá při tlakovém spádu na ventilu  $\Delta p_k = 2,45 \text{ kPa}$ .

## 2.2 Vírové číslo

Jedná se o číslo charakterizující schopnost sacího kanálu způsobit rotaci náplně při vtoku do válce. Rotace náplně je výsledkem složitých proudových dějů na které má největší vliv tvar kanálu a jeho zakřivení, tvar ventilu a jeho umístění vzhledem k ose válce. Proudění ve válci, jeho intenzita a tvar vírových útvarů rozhodujícím způsobem ovlivňuje procesy spalování a tedy i základní parametry motoru neboť jde o přímé ovlivnění indikované účinnosti. Na kvalitě spalování se projevují především vlivy mísení paliva se vzduchem, rychlostí hoření a šíření plamene.

Základní vírový útvar je dán charakterem plnicího systému a ovlivněn pohybem tekutiny v plnicím kanále, nasměrováním vtoku tekutiny do válce a změnami vyvolanými průtokem tekutiny mezi talířem ventilu a ventilovým sedlem v hlavě motoru. K tomu navíc přistupují vířivé pohyby náplně válce vyvolané obtokem hran a vznik turbulentního proudění, tedy vlivy při stacionární zkoušce nepostihnutelné.

Při zkoušce na kanálové trati se měří ustálená rotace náplně válce. Její otáčky se ustálí při rovnováze hnacího momentu vzduchu přitékajícího do válce a odporového momentu. Absolutní otáčky náplně závisí jednak na množství vzduchu na které hnací moment přímo působí, jednak na velikosti odtokového průřezu. Proto jsou závislé na délce použitého válce. Z toho je zřejmé že nelze dosáhnout stejných podmínek jako ve skutečném motoru za provozu, a tedy že vírové číslo charakterizuje porovnání jednotlivých typů sacích kanálů a jejich konstrukce, ventilů, sedel a jejich umístění vzhledem ke spalovacímu prostoru motoru.

Vírové číslo je vyjádřením poměru absolutních otáček víru a otáček motoru. Protože jde o modelovou zkoušku na kanálové trati, je třeba odpovídajícím způsobem vyjádřit otáčky motoru. Ty se určují za předpokladu stejné rychlosti proudění ve válci  $w_v$  a střední pístové rychlosti  $c_s$ :

$$\nu = \frac{n_j}{n} \quad (8)$$

Při použití impulsního měřiče se vychází z předpokladu že vír má charakter pevného tělesa, s osou rotace shodnou s osou válce. Moment setrvačnosti vírového útvaru bude:

$$I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \frac{D}{2} \quad (9)$$

Vírové číslo jako bezrozměrný parametr

$$N = \frac{\omega \cdot D}{w_{is}} \quad (10)$$

A točivý moment zachycený impulsním měřičem

$$M_t = I \cdot \omega \quad (11)$$

Úpravou se získá tvar vírového čísla dle Ricarda

$$N_R = \frac{8 \cdot M_t}{m \cdot w_{is} \cdot D} \quad (12)$$

Kde  $w_{is}$  je izoentropická rychlost proudu, daná vztahem

$$w_{is} = \frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot r \cdot T_b \cdot 1 - \pi^{\frac{k-1}{k}} \quad (13)$$

Hmotnostní množství vzduchu proteklé ventilem při daném zdvihu je:

$$\dot{m} = \mu \cdot \rho \cdot w_{is} \cdot S_v \quad (14)$$

Pro dosažení podmínek stacionárního proudění je nutné zjistit vztah mezi střední rychlostí ventilu  $w_v$  a rychlostí proudu vzdušiny  $w_{is}$   $100 w_v$ .

Ve skutečných podmínkách je rychlost v počátečních fázích zdvihu ventilu dána kritickou rychlostí a průtokové množství vztahem: [1]

$$\dot{m} = \mu \cdot \rho \cdot S_v \cdot \frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot r \cdot T_b \cdot 1 - \pi^{\frac{k-1}{k}} \quad (15)$$



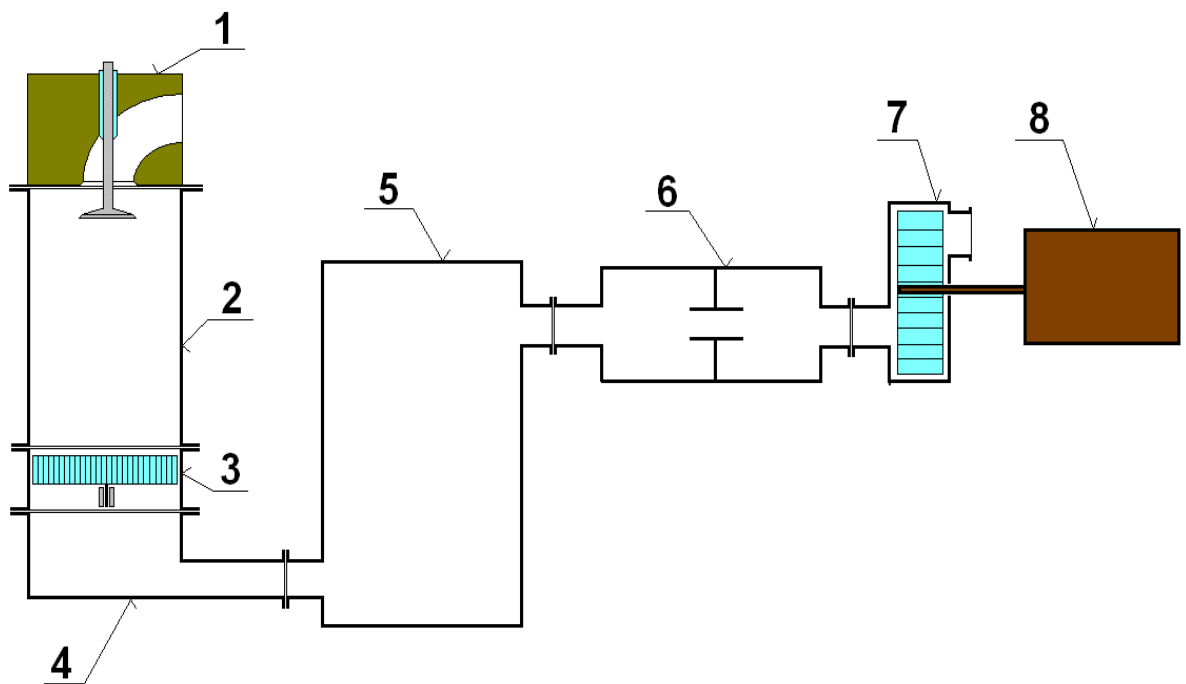
### 3 Návrh měřicí tratě

V zadání bakalářské práce byl požadován návrh na takové konstrukční řešení měřicí kanálové tratě, aby umožňovala měření na různých typech motorových hlav, zejména zážehových motorů s průměrem válců 50-100 mm. Při řešení tohoto úkolu jsem se snažil tyto podmínky nejen splnit, ale zkonstruovat takové zařízení jehož použití by bylo ještě více variabilní.

Výsledkem je návrh měřicí kanálové trati na které lze měřit hlavy PSM o jakémkoliv počtu válců, s jakýmkoliv vrchem vedeným ventilovým rozvodem (OHC, OHV), s dvěma až čtyřmi ventily na válec, s ventily ve svislém směru i ve sklonu. Limit použitelnosti zařízení není možno přesně stanovit, rozhodujícím faktorem pro úspěšné použití bude, zda se podaří upevnit základní desku na hlavu PSM.

V krajně nepříznivých zástavbových podmínkách lze vyrobit jinou atypickou základní desku nebo ji upevnit na hlavu s využitím různých jednoúčelových mezikusů a podpěr, navržených na ten který konkrétní typ hlavy. U hlav s více ventily na válec lze s použitím prodlouženého tlačného členu stlačovat a měřit zdvih i dvou ventilů najednou, pod podmínkou že osy obou ventilů jsou navzájem rovnoběžné.

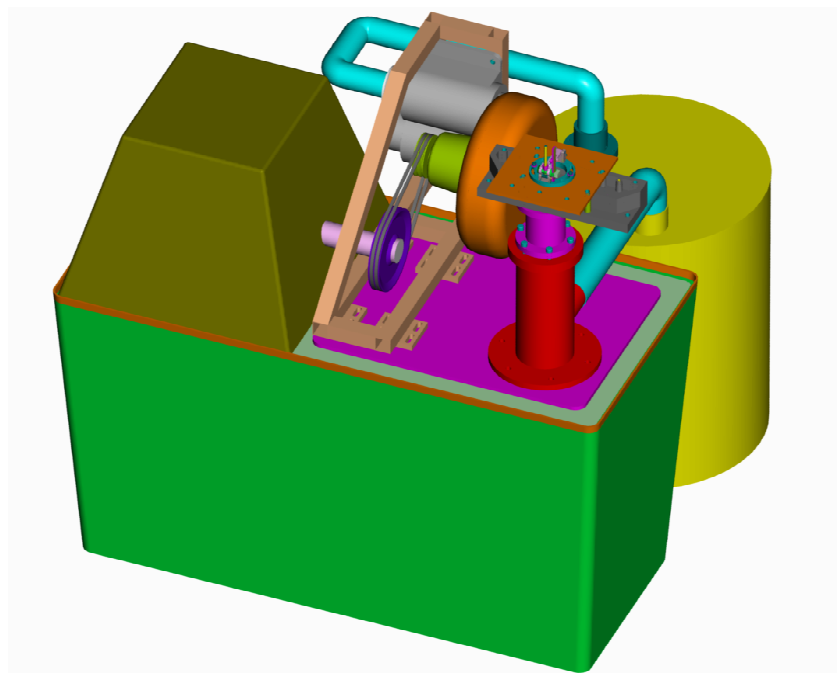
Navrhovaná měřicí trať pro zjišťování vlastností kanálů pístových spalovacích motorů se skládá z vyřazené, částečně demontované a upravené zkoušecí stanice Motorpal NC 104, z dmyhadla, dále ze zařízení na upnutí zkoušené hlavy motoru a mechanismu na otevírání ventilu PSM, z kanálové trati s vyrovnávací nádrží a z měřících a záznamových zařízení včetně počítačového vybavení. Celá sestava bude provedena dle obr. 1.



Obr. 1 Schéma měřicí kanálové tratě

**Legenda:**

1 – Zkoušená hlava PSM s namontovaným a pootevřeným ventilem, 2 – Zkušební komora, 3 – Impulsní anemometr, 4 – Základní člen, 5 – Uklidňovací objem, 6 – Clonka, 7 – Dmychadlo, 8 – Regulovatelný pohon stanice Motorpal NC 104



Obr. 2 Navržená kanálová trať

### 3.2 Dmychadlo

Dmychadlo je zdrojem tlakového spádu v celé kanálové trati. Počáteční požadavky byly stanoveny tak, aby dmychadlo mělo objemový výkon přibližně 600 m<sup>3</sup> vzduchu za hodinu, a dosahovaný tlakový spád do 10 kPa. Při hledání vhodného dmychadla jsem ale zjistil že zařízení s těmito parametry vyžadují příkon od přibližně 8 kW až do 11 kW, a otáčky od 3000 ot/min výše.

Bylo tedy rozhodnuto ke snížení požadovaných špičkových parametrů tak, aby vyhovoval pohon stolice příkonu čerpadla a zároveň byla zaručena možnost měření hlav motorů do 100mm průměru válce. Drobným problémem se ukázal být i výběr vhodného dmychadla bez vlastního pohonu, téměř všechny dmychadla vhodných parametrů, jsou nabízena s vlastním elektromotorem a výrobci nebo prodejní zástupci možnost dodání dmychadla bez demontovaného motoru odmítly. [7]

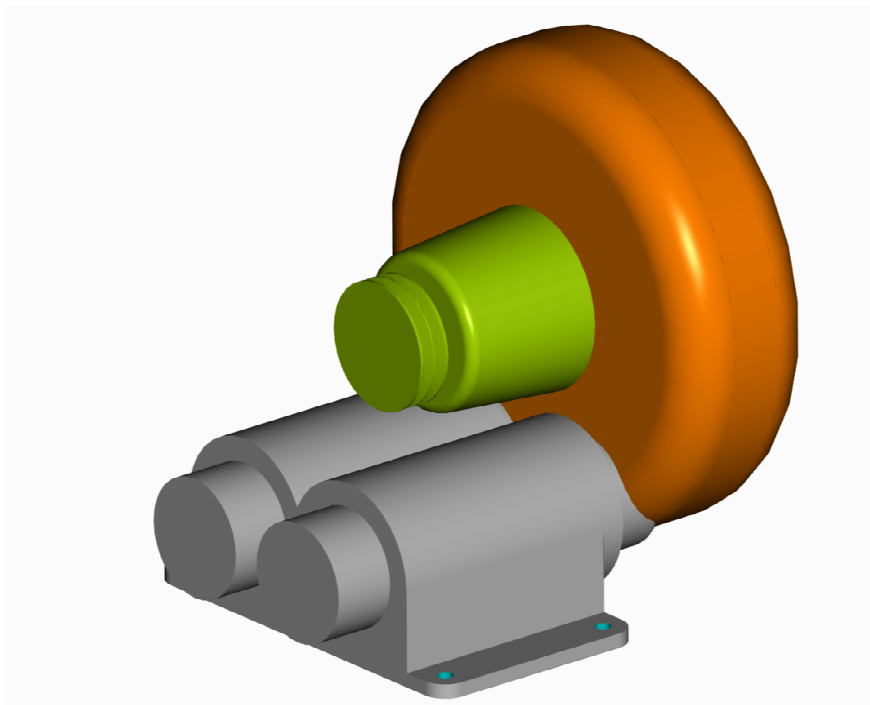
Nabízelo se použití rotačního dmychadla „Volumex“ systému Roots, které je katedře k dispozici. Bohužel na něm zcela chybí jakékoliv identifikační údaje, kromě výrobního čísla a skutečnosti že vyžaduje příkon 4 kW. Zjistit o něm další bližší údaje se nepodařilo ani na katedře, ani prohledáváním katalogů na internetu. V případě že by se podařilo nalézt parametry tohoto kompresoru, a byl by vyhovující, by po několika úpravách bylo možné jej použít. Jeho výhodou by určitě byla cena oproti jakémukoliv kupovanému dmychadlu.

Jako nejlepší použitelné bylo vybráno bezmotorové dmychadlo typu SD 6-1 od firmy Energoekonom s.r.o., Divize 1, z Úval u Prahy. Vybraný typ má při 3440 ot/min, což jsou maximální otáčky, objemový výkon 336 m<sup>3</sup>/hod a maximální dosažitelný tlakový spád 26 kPa. To jsou hodnoty výrazně vyšší než požadované.

Na základě konzultací s technikou firmy Energoekonom bylo zjištěno, že křivka výkonů dmychadla bude při 2800 ot/min přibližně 75 % než při maximálních otáčkách. To znamená, že zvolené dmychadlo bude dosahovat při tlakovém spádu 2,5 kPa objemového výkonu kolem 240 m<sup>3</sup>/hod, což je více než dostatečné. Při nižším množství vzduchu kolem 100 m<sup>3</sup>/hod je dosažitelný tlakový spád 10 kPa, při 60 m<sup>3</sup>/hod je 17 kPa.

V případě že by do budoucna byl požadavek měřit parametry kanálů i větších motorů, doporučuji zakoupení odpovídajícího pohonu ke dmychadlu SD 6-1, realizovat ovládání výkonu (elektronicky nebo například odpouštěním vzduchu), a tím dosahovat špičkových výkonů až 270 m<sup>3</sup>/hod a tlaků do 25 kPa.

Cena dmyhadla SD 6-1 je stanovena výrobcem na 29 205 Kč bez DPH, dodací lhůta je do čtyř týdnů. [6]



Obr. 3 Dmyhadlo

### **3.1 Stanice Motorpal**

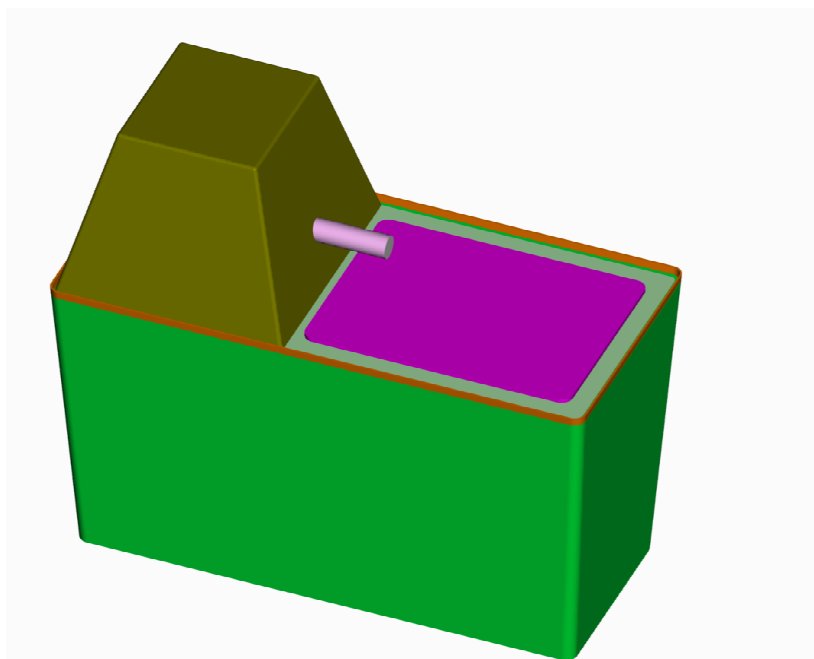
Jedná se o vyřazenou a částečně demontovanou stanici Motorpal NC 104, sloužící dříve pro testování a seřizování vstřikovacích čerpadel naftových motorů. Ze stanice byla již dříve odstraněna část pro odměřování vstřikované nafty. Zůstal základ stolu z litinového odlitku, krytého rovnou litinovou deskou, která bude s výhodou použita pro zástavbu kanálové trati.

Stanice je ještě stále vybavena hnacím elektromotorem spojeným pružnou spojkou s hydraulickými převody systému Pittler – Thoma, výstupním hřídelem nad krycí deskou a potřebnými ovládacími prvky. Výhodou daného hydraulického převodu je rovnoměrný chod výstupního hřídele i při střídavém zatížení a zejména možnost plynulé změny otáček.

Maximální otáčky výstupního hřídele jsou 1400 ot/min., maximální výkon na výstupním hřídeli dle návodu k použití asi 3,5 koně což je přibližně 2,6 kW.

Pro použití jako součásti kanálové měřicí tratě není třeba stanici výrazně upravovat. Je třeba zajistit aby byl plně funkční pohon výstupního hřídele s ovládáním rychlosti. Na výstupní hřídel je třeba připevnit řemenici pro pohon dmychadla, buď úpravou stávající hřídele nebo výrobou nové. Dále bude na horní desku připevněna svařovaná konstrukce držáku dmychadla vzduchu a podstava s odvodem vzduchu ze zkušební komory.

Na základě osobní prohlídky důrazně doporučuji před uvedením stanice do provozu celkovou revizi zejména elektroinstalace a také tlakových olejových rozvodů. Nejen z důvodů částečné demontáže lze předpokládat drobná poškození různých částí, a nelze vyloučit ani zkrat v elektroinstalaci nebo uvolněná tlaková olejová vedení. [3]



Obr. 4 Vyřazená stanice Motorpal

### 3.3 Držák dmyhadla

Vzhledem k omezeným zástavbovým rozměrům na horní ploše stanice Motorpal, a i vzhledem potřebě převodu pohonu dmyhadla 1:2 do rychla, je navrženo upnout dmyhadlo mimo osu vřetene stanice. Toho se docílí pomocí navrženého svařence, upevněného 12-ti šrouby M12 z patek do horní desky stanice. Držák je svařen z uzavřených profilů čtvercového průřezu 40x40 mm s tloušťkou stěny 1,5 mm.

Dmyhadlo je připevněno ve svislé poloze, převod výkonu z vřetena stolice je navržen dvojicí klínových řemenů. Úprava otvorů pro šrouby v patkách umožňuje dopínání řemene v rozmezí cca 40mm. V případě potřeby lze na horní plochu šikmého profilu přišroubovat plechovou desku o rozměrech 630x150x2, která bude sloužit jako ochrana před rotující řemenicí.



Obr. 5 Držák dmyhadla

### **3.4 Upínání motorových hlav do přípravku a ovládání otevření ventilu**

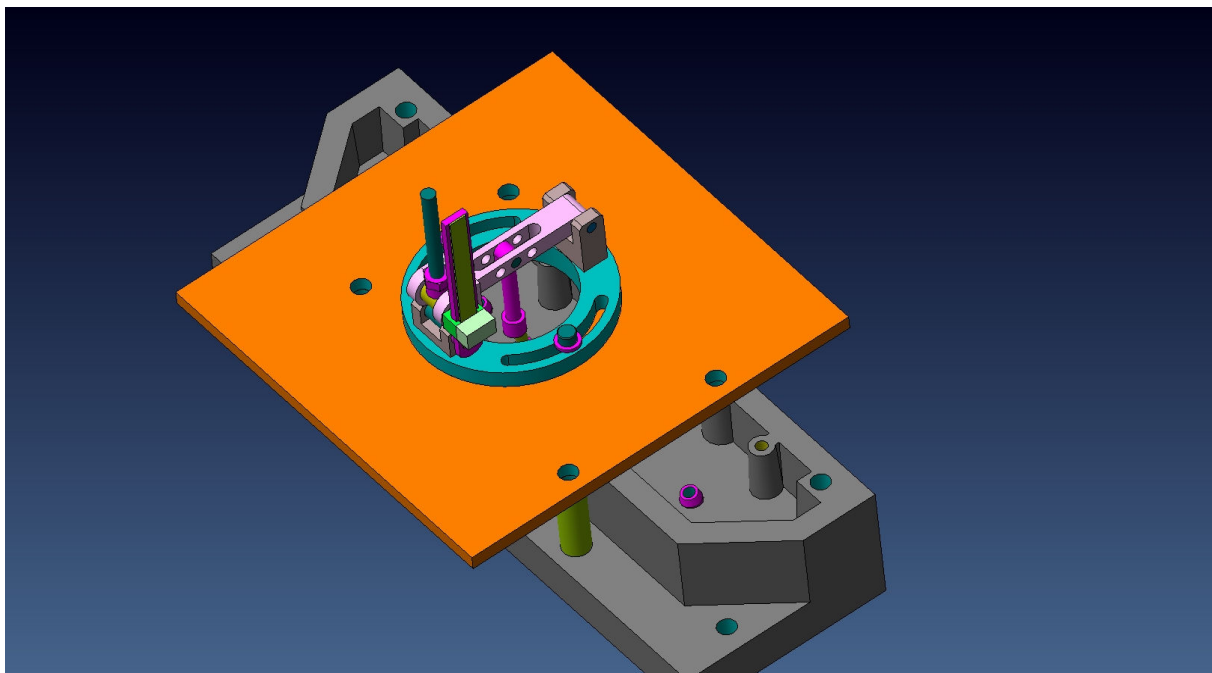
Nejsložitější částí návrhu celé měřicí trati je přípravek na upínání zkoušených hlav společně s mechanismem ovládání otevření ventilu. V zadání práce na zkušební kanálové trati byla požadována jistá univerzálnost na použití více typů hlav s různým počtem, upřádkáním i sklonem ventilů. V návrhu zařízení byl tento parametr hlavní prioritou a navržené řešení lze při záměně minimálního počtu dílů použít pro velké množství motorových hlav rozdílných typů i konstrukčních řešení.

Podmínkou snadné realizovatelnosti každého zařízení je také cena, při konstrukci bylo toto zohledněno použitím co nejmenšího počtu speciálních dílů anebo snadnou výrobou netypických prvků. A v neposlední řadě bylo přihlédnuto ke požadavku jednoduchosti obsluhy a snadnosti montáže.

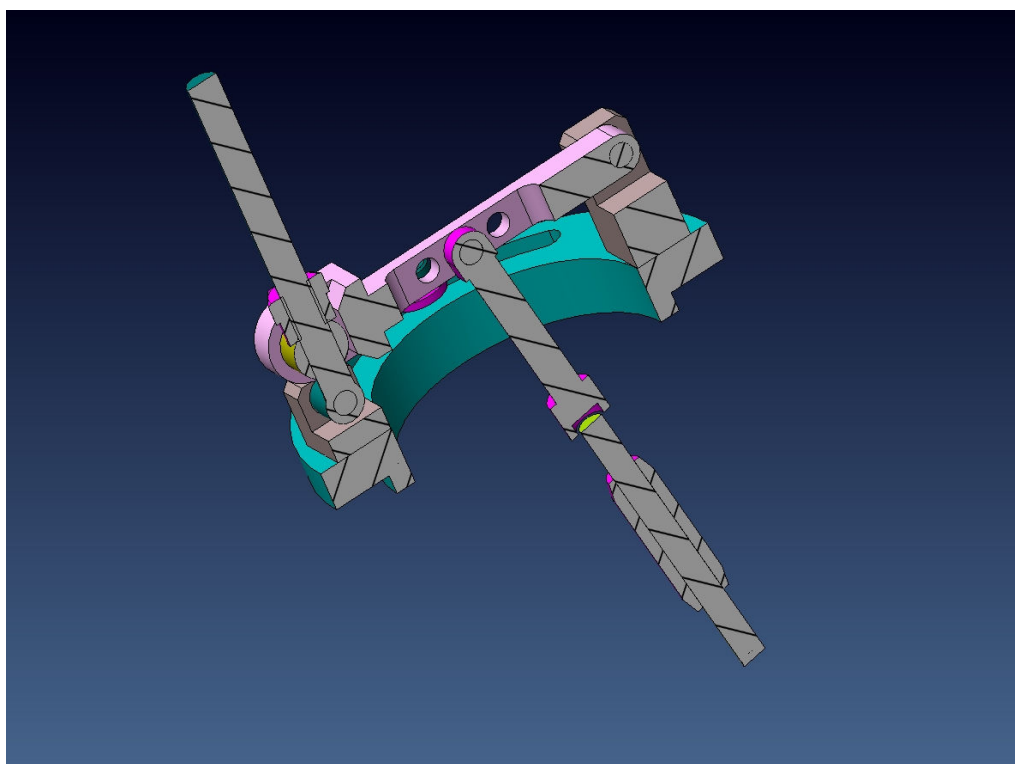
Celek upínacího a ventil ovládajícího zařízení se skládá ze: Zkušební komory, zkoušené hlavy PSM s namontovanými ventily a pružinami, ze základní desky, z otočné desky, z ramena, tlačného členu, seřizovacího šroubu s pojistnou maticí, z odměřovacího pravítka s jezdcem a z několika čepů, upínacích a aretačních šroubů a v případě potřeby z různě dlouhých rozpěrek.

Zařízení na otevírání ventilů je navrženo na principu jednoramenné páky, kdy je přenášen posuvný pohyb vyvolaný otáčením pojistné matice a odměřovaný měřícím pravítkem na rameno a z něho tlačným členem přímo na ventilový dřík.

Prvky zařízení, ve kterých jsou uloženy otočné čepy jsou navrženy kalené z oceli 1.2343, ostatní méně namáhané z běžné konstrukční oceli 1.1730



Obr. 6 Sestavené zařízení na hlavě motoru Škoda 781 Favorit/Felicia



Obr. 7 Detail zařízení v podélném řezu



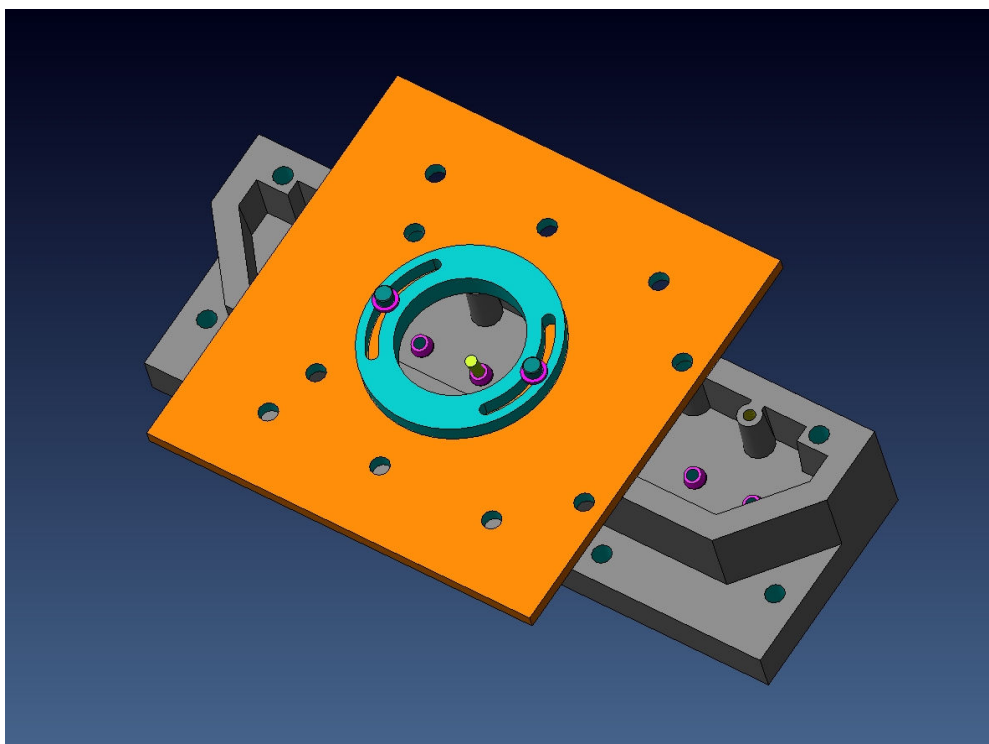
### 3.4.1 Základní deska

Je upevněna přímo na hlavě PSM pomocí šroubů (svorníků) skrz hlavu až do zkušební komory, anebo do výše zmiňovaných redukcí. Jedná se o 8 mm tlustou ocelovou desku s kruhovým výřezem pro tlačný člen, čtyřmi závitovými otvory pro aretační šrouby a několika otvory pro upínací šrouby, s roztečemi shodnými s otvory v hlavě motoru.

To je jedna z velkých výhod navrhovaného zařízení, kdy úprava upnutí na jinou hlavu spočívá ve vyvrtání otvorů s roztečí odpovídající svorníkům požadované hlavy PSM. Navrhovaná deska je v návrhu připravena pro upnutí na hlavách motorů Škoda 781.135/136 a Škoda 1.2/40 kW-EA 111.03D.

### 3.4.2 Otočná deska

Je tvořena kruhovou ocelovou deskou s kruhovým výřezem uprostřed, korespondujícím s otvorem v základní desce a s dvěma kruhovými výřezy po stranách pro uchycení aretačními šrouby do základní desky. Dále je na ni přišroubováno uložení pro válcové čepy ramene a seřizovacího šroubu. Upevnění aretačními šrouby skrz srpkovité vybrání umožňuje vzájemné natočení základní a otočné desky, které je nutné při zkoušení hlav jejichž ventily jsou skloněny v jiné rovině než v rovině příčného řezu hlavou.



Obr. 8 Základní deska s namontovanou otočnou deskou a aretačními šrouby

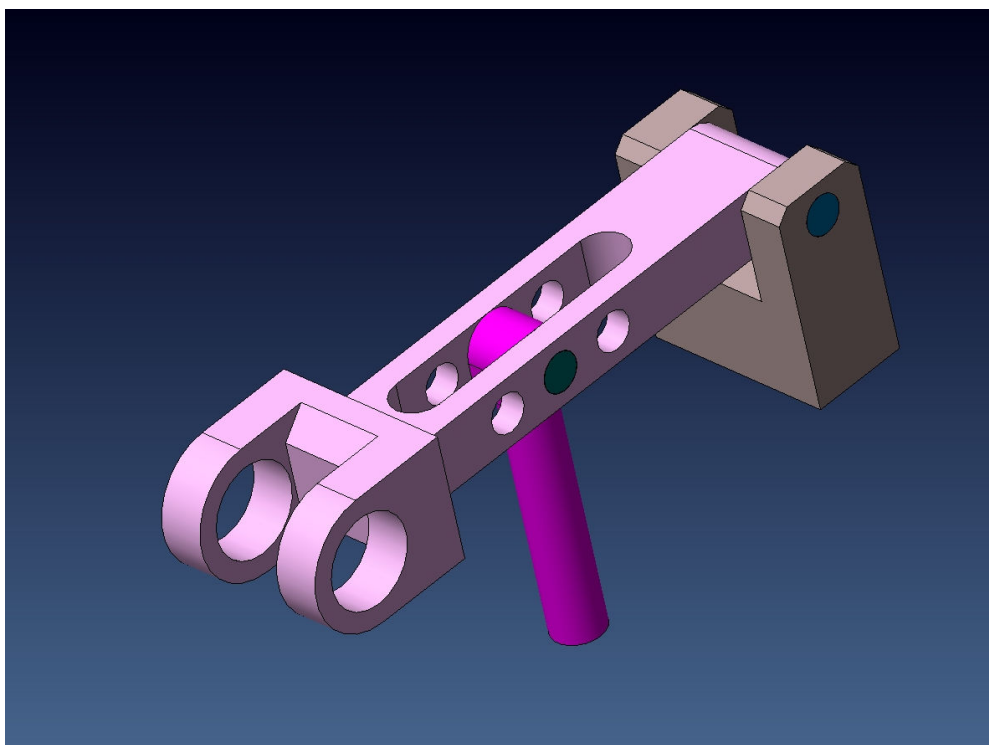
### 3.4.3 Rameno

Je jedním koncem upnuto pomocí čepu do otočné desky, druhým koncem prochází čep se seřizovacím šroubem. Přibližně uprostřed ramene je odlehčení se třemi vyvrtanými otvory, sloužícími k upevnění tlačného členu. Tři jsou proto aby se opět zvýšila variabilnost použití zařízení. Tlačný člen je možné zavěsit do jakéhokoliv z těchto otvorů, jen je potřeba ten konkrétní zohlednit ve výpočtech kinematických veličin. Rameno je navrženo z kaleného materiálu 1.2343, aby byla zaručena dlouhá životnost a jako prevence před vydíráním otvorů pro čepy během provozu.

### 3.4.4 Tlačný člen

Je svým horním koncem otočně zavěšen na rameni, druhý konec dosedá přímo na konec díku ventilu. Ventilový konec má drobné zahlobnutí jako prevenci před vysmeknutím se z díku ventilu. Tlačný člen je druhý prvek zařízení který je navržen jako výměnný.

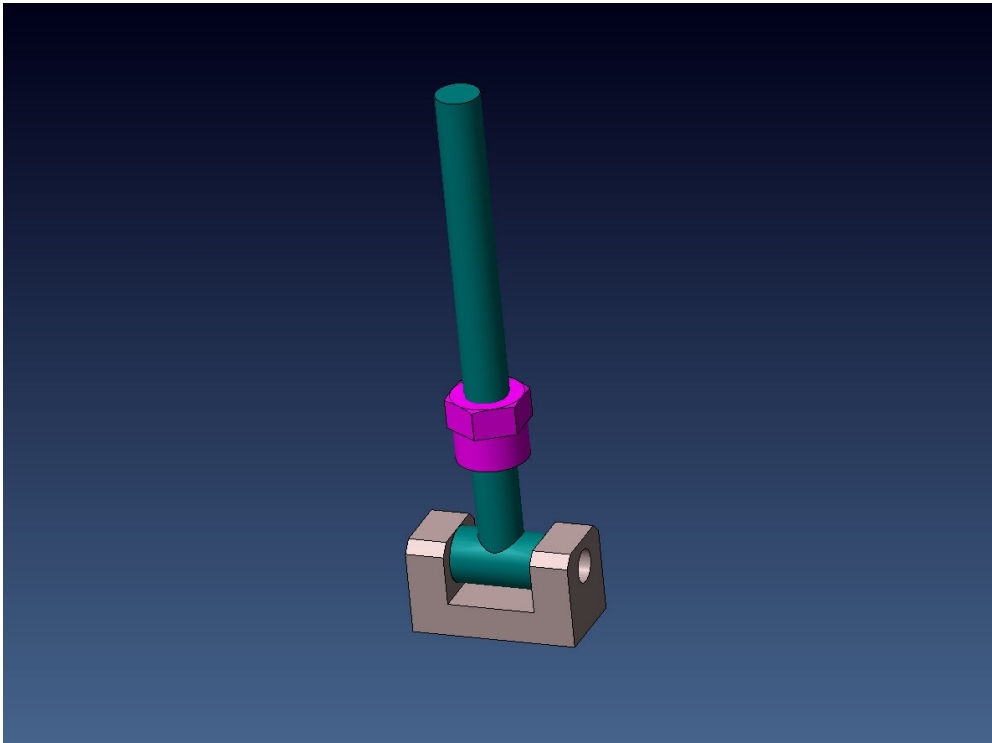
V případě měření jiné hlavy PSM se tlačný člen vyrobí na odpovídající rozměr (délku) tak aby odpovídal vzdálenosti mezi koncem dřívku ventilu a ramenem v jeho přibližně vodorovné poloze. V případě požadavku na otevírání dvou ventilů zároveň (u motorů s více ventily na válec) se použije tlačný člen s rozšířeným koncem, který je ale nutno upravit pro konkrétní hlavu.



Obr. 9 Rameno s uložením a s připevněným tlačným členem

### 3.4.5 Seřizovací šroub s maticí

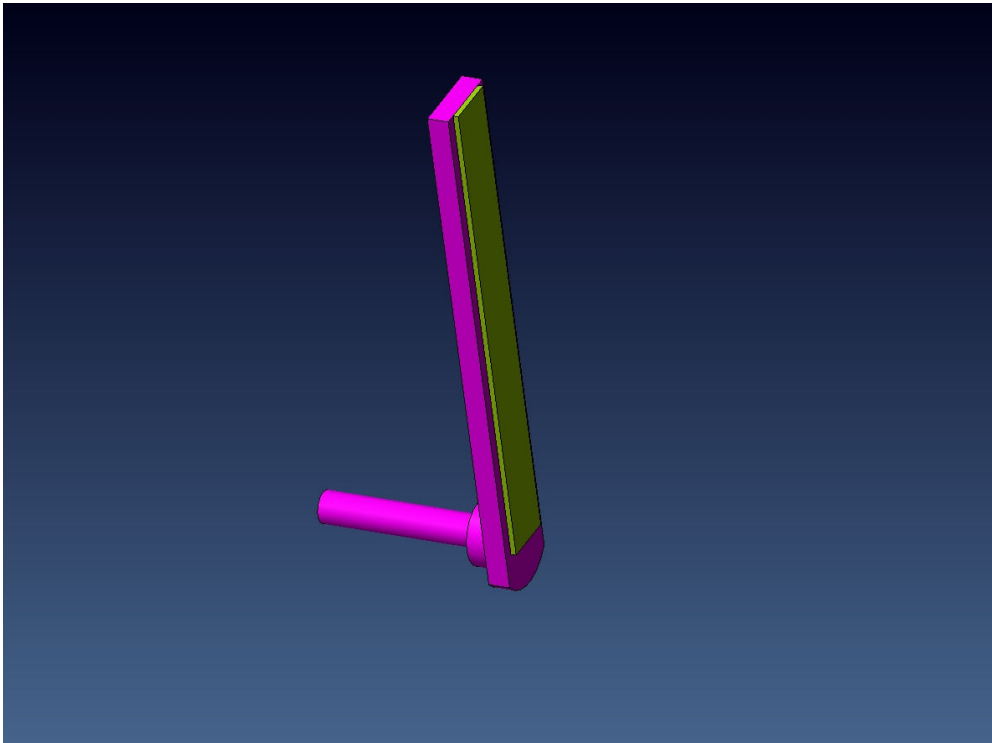
Rozšířený dolní konec šroubu je uložen otočně na čepu, dřív šroubu prochází čepem v rameni a je zajištěn z horní strany maticí s jemným stoupáním. Zašroubováváním matice mění vzdálenost obou čepů, a tím se posuvný pohyb přenáší přes rameno na tlačný člen a z něho na dřívku ventilu.



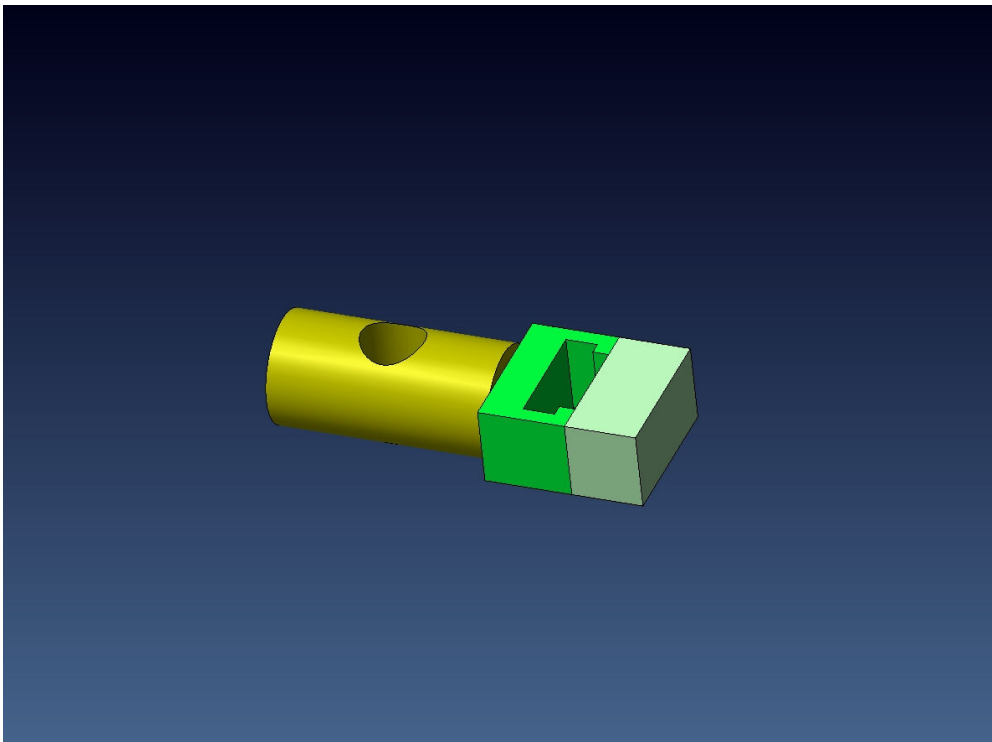
Obr. 10 Seřizovací šroub s pojistnou maticí

Vzhledem k nemožnosti měřit přímo zdvih ventilu je odměřovací elektronické pravítko upevněno v jedné rovině se šroubem na dolním čepu šroubu, jeho jezdec pak na horním čepu a zdvihová závislost na ventilu je přepočítávána matematicky. Odečítací zařízení je navrženo tak aby bylo naprosto rovnoběžné s osou seřizovacího šroubu, a tím zaručena přesnost výpočtu zdvihu ventilu.

Potřebné kinematické schéma mechanismu a jeho výpočet je popsán níže v kapitole Kinematické schéma. S ohledem na delší životnost jsou čepy, respektive jejich uložení, navrženy kalené. Tím bude zaručeno že i po dlouhodobém provozu nedojde ke vzniku škodlivých vůlí pohybujících se součástí, ovlivňující přesnost výpočtu zdvihu ventilu. Elektronický čítač polohy pravítka (jezdec) bude přilepen běžně dostupným lepidlem na kovy k plošce na konci čepu v ramenu. Konec tohoto čepu bude zároveň svým vyfrézovaným vybráním vymezovat axiální posuv odměřovacího pravítka, a tím i zajišťovat stále stejnou vzdálenost jezdce od pravítka.

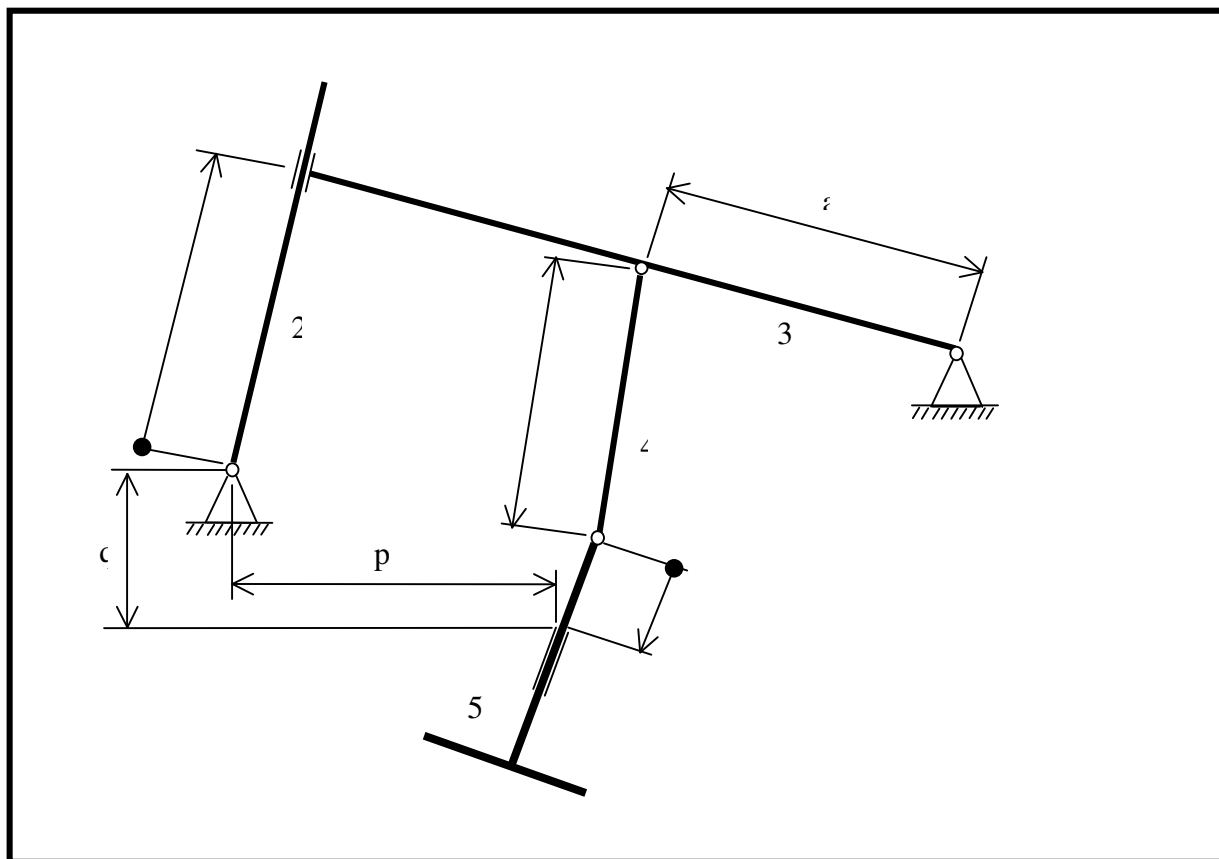


Obr. 11 Odměřovací pravítko posuvu šroubu



Obr. 12 Čep ramene a jezdec odměřovacího pravítka

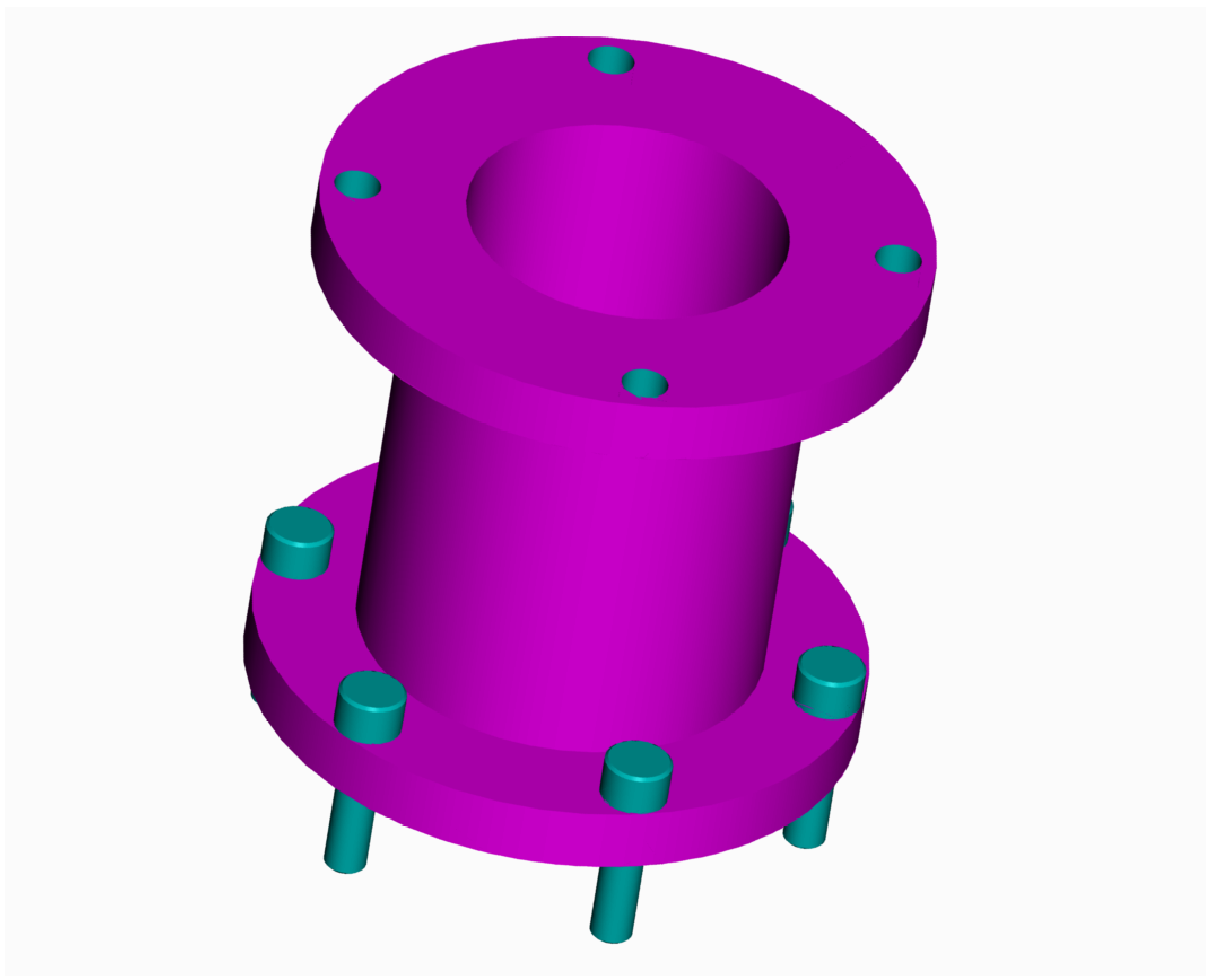
### 3.4.6 Kinematické schéma



Legenda: 1 – rám, 2 – seřizovací šroub, 3 – rameno, 4 – tlačný člen, 5 – ventil motoru

### 3.5 Zkušební komora

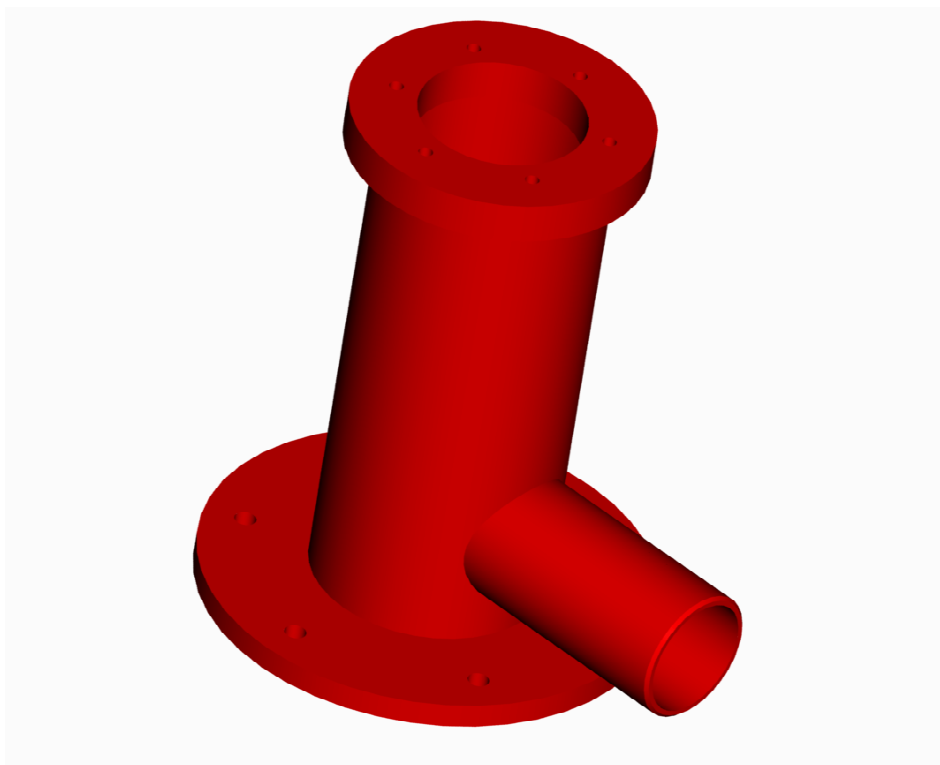
Slouží k simulaci válcového obsahu motoru. Její průměr je shodný s průměrem válce motoru příslušejícího ke zkoušené hlavě. Její délka činí minimálně 1,75 násobku jejího průměru. Spodním koncem je přírubou upevněna na měřící stolici, nebo impulsní anemometr při měření vírového čísla. Na jejím horním konci je příruba sloužící k připevnění měřené motorové hlavy. Proudící vzduch je ze zkušební komory odváděn spodem do vyrovnávací nádrže. S výhodou lze jako tělo zkušební komory využít originální vložky motoru, v tom případě je ale nutné na ni odpovídajícím způsobem připevnit obě příruby. Horní příruba má čtyři otvory, odpovídající průměrem i roztečí otvorům ve zkoušené hlavě. Dolní příruba má šest otvorů o průměru 7 mm pro upevnění do podstavy.



Obr. 13 Zkušební komora

### **3.6 Podstava**

Navržená podstava slouží jednak jako základní stavební člen pro upínací přípravek a jednak jako prostor pro upevnění impulsního anemometru. Podstava má tvar svislého válce s dvěma průchozími a jednou slepou přírubou. Je připevněna 6ti šrouby M12 ve slepé přírubě do horní desky stoly Motorpal. Na horní přírubu se při montáži upevní příruba anemometru a rovněž dolní příruba zkušební komory. Tělo anemometru se po sestavení zcela vloženo do podstavy, ven vychází jen kabel s daty o naměřeném víření vzdušiny. Vzdušina je z podstavy odsávána boční přírubou do uklidňovacího objemu.



Obr. 14 Podstava

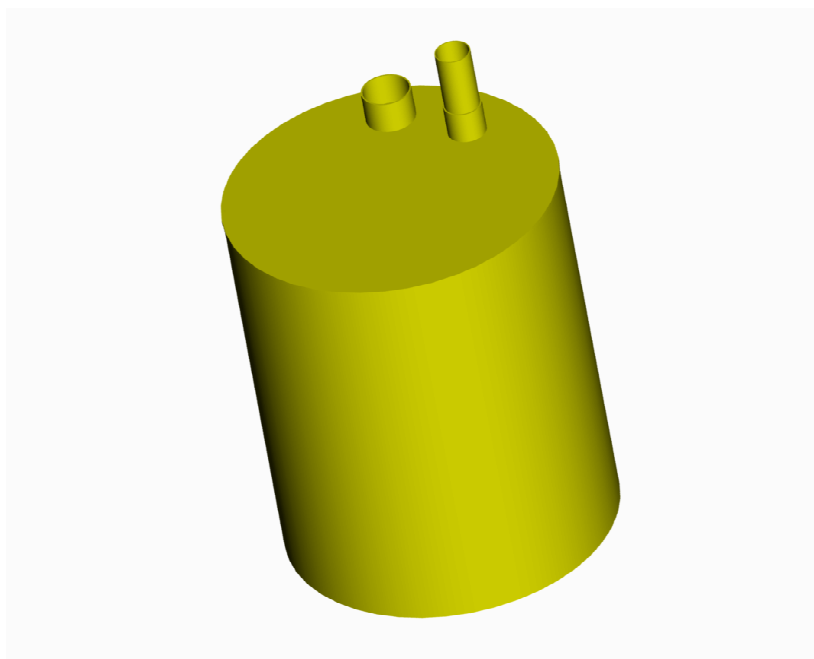
### **3.7 Uklidňovací objem**

Jako uklidňovací objem se používá nádoba o obsahu minimálně 200 litrů, která slouží k tomu aby se vyrovnaly možné pulzy v potrubí před tím než je měřen skutečný průtok na clonce. Vzhledem k relativně nízkým hodnotám podtlaků při měření na kanálové trati je v této práci navržen jednoduchý plechový svařenec o objemu 226 litrů, umístěný na zemi vedle stolice Motorpal. Jeho víkem prochází dvě trubky, jedna o vnitřním průměru 84 mm jako přívod vzduchu od podstavy a měřené hlavy motoru, druhá o vnitřním průměru 64 mm směrem k měřicí clonce.

Průchody obou trubek víkem nádoby jsou zpevněné přírubou navařenou do víka. Trubka vedoucí směrem k měřicí clonce je zasunutá až na dno sudu, a to z toho důvodu aby se vytvořila patřičná délka nerušeného toku vzdušiny před clonkou. Trubky se můžou s výhodou použít plastové na odpadní vody, jsou pevné, levné a dají se snadno opracovat. Při montáži se spáry mezi trubkami, přírubami a víkem nádoby vytmelí běžně dostupným silikonovým tmelem nebo lepidlem.



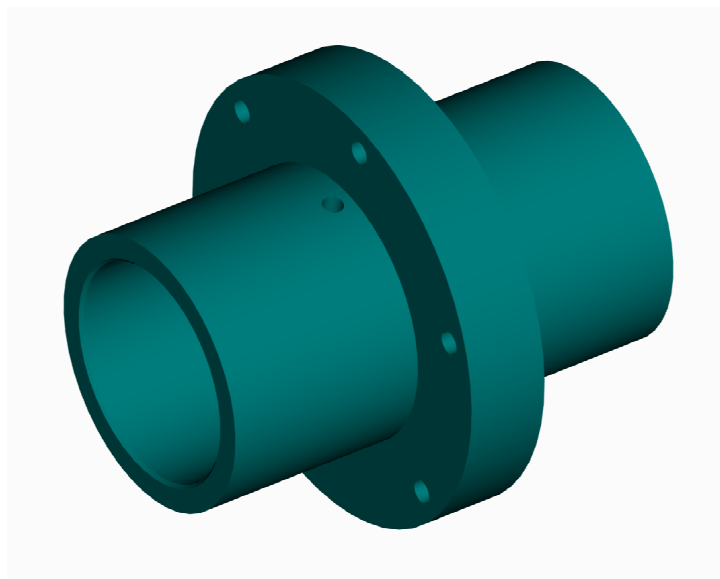
V případě potřeby je možné použít i jakoukoliv jinou nádobu, pokud bude mít objem kolem 200 litrů. V takovém případě se z PVC trubek sestaví odpovídající potrubí stejným způsobem jako v předchozím návrhu.



Obr. 15 Uklidňovací objem

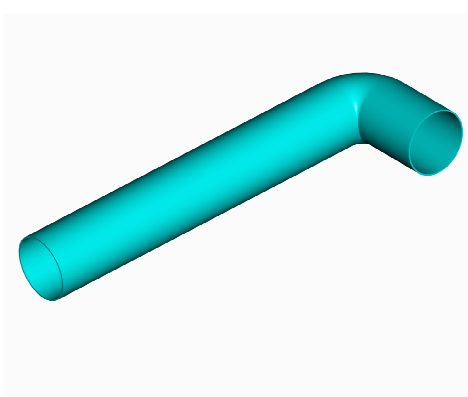
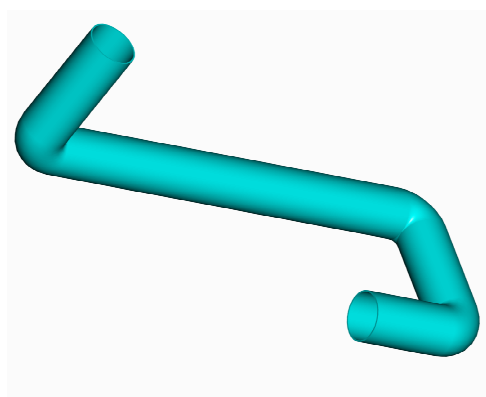
### **3.7 Komora s clonkou**

Měřicí clonka sevřená mezi dvěma přírubami z hliníkové slitiny je umístěna v potrubí mezi uklidňovacím objemem a sáním dmyhadla v dobře přístupném místě. Obě příruby jsou shodné, a jsou navrženy tak aby zaručovaly těsné spojení s přívodním potrubím a zároveň nenarušovaly tok vzdušiny u clonky. V obou přírubách jsou zaústěna vedení tlakoměrů. Přívodní trubky se nasunou do přírub a čelem se opřou přímo o clonku z obou stran. Délka přímého úseku potrubí před clonkou je minimálně 722 mm, což stačí na ustálení proudnic. Při měření jiných motorů se vyrobí odpovídající clonka s příslušnými přírubami.



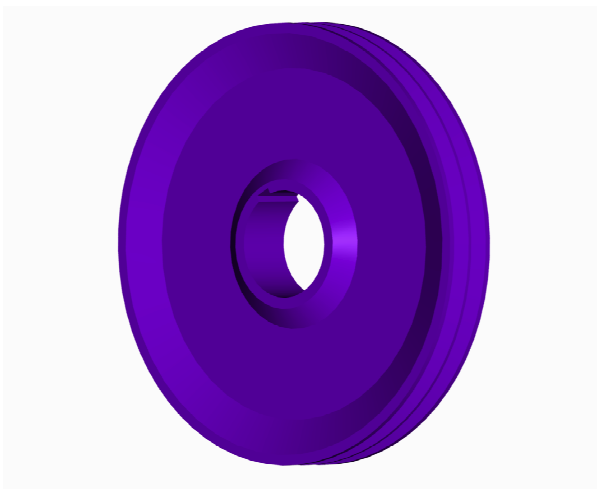
Obr. 16 Potrubí pro vedení vzdušin

Pro vedení vzdušin je navrženo potrubí z běžně dostupných PVC trubek, používaných na odpadní vody. Stejné řešení bylo použito i na starší kanálové trati na katedře Vozidel a motorů. Výhodou takovýchto vedení je jejich minimální cena, velmi snadná obrobiteľnosť, nízka váha a veľká variabilita při sestavování. První větev z podstavy do uklidňovacího objemu je navržena z potrubí o vnitřním průměru  $D = 80\text{mm}$ , druhá větev z uklidňovacího objemu přes měřicí clonku do dmychadla o vnitřním průměru  $D = 60\text{mm}$ . Trubky se budou připojovat na příruby a těsnit běžným silikonovým tmelem. Vzhledem k tomu že ve vedení bude za provozu udržován jistý podtlak, nehrozí nebezpečí že by vedení mělo snahu se z přírub vymeknout, a není tedy ani třeba jej na přírubách nějak speciálně zajišťovat.



Obr. 17 Řemenový převod

Navržený řemenový převod slouží k přenosu výkonu z vřetene stolice Motorpal na hřídel dmychadla. Na straně dmychadla je standardně dodávána řemenice o výpočtovém průměru  $d_w = 100$  mm na dva klínové řemeny XPZ DIN 7753. Řemenice na straně pohonu je o výpočtovém průměru  $d_w = 200$  mm, takže výsledný převod je 1:2 do rychla. Na vřeteno stolice se řemenice upevní na vložené pero a zajistí pojistným šroubem. [2]



Obr. 18 Příruby pro vedení vzduchu

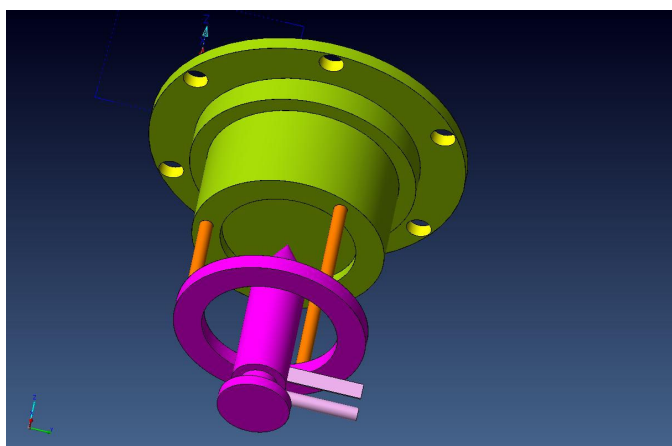
V návrhu měřicí tratě jsou použity dvě větve potrubí na vedení vzdušin, první od podstavy do uklidňovacího objemu, druhá pak přes clonku do dmychadla. Pro funkční spojení s dmychadlem a uklidňovací komorou jsou navrženy různé příruby. Trubky se na ně navléknou, spára mezi trubicí a přírubou se utěsní silikonovým tmelem. Tmel je možné použít i pro preventivní těsnění spár plochy mezi přírubami a dmychadlem, respektive uklidňovacím objemem.

### **3.6 Osazení měřícím zařízením**

Z měřících a záznamových zařízení jsou v kanálové trati navrženy celkem čtyři tlakoměry, lineární odměřovací pravítko, teploměr, clonka a impulsní anemometr.

### 3.6.1 Impulsní anemometr

Jako impulsní anemometr bude použit starší anemometr ze zrušené kanálové trati, který je k dispozici na katedře Vozidel a motorů. V anemometru se energie tangenciálního víru náplně mění na točivý moment pomocí matrice složené z malých plechových komůrek. Tam také dochází k předání energie vírových útvarů z proudící vzdušiny. V měřicí trati je upevněn a zcela vložen do podstavy, shora na něj přiléhá zkušební komora.



Obr. 19 Impulsní anemometr

### 3.6.2 Lineární odměřovací pravítko

Odměřovací lineární pravítko s odečítáním je navrženo jako běžně komerčně dostupné, například od firmy Fersyn. Pravítko je tvořeno ocelovou planžetou 10x0,8 mm, nalepenou na ocelovou podložku. Jezdec se pohybuje nad pravítkem ve vzdálenosti 0,2 mm.

Indikátor polohy je navržen jako číslicový digitální řady Fersyn BC nebo IP-51. V zásadě ale lze použít jakéhokoli lineárního pravítka od jakékoliv firmy, pokud to jeho zástavbové rozměry dovolí. Další firmy dodávající tyto systémy jsou například německý Siemens nebo česká firma I&TS z Kolína. Digitální displej se připevní pomocí dodaného držáku na libovolné vhodné místo, tak aby na něj obsluha dobře viděla. [4]

### 3.5.3 Snímače tlaku

V měřicí trati jsou navrženy tři na měření statického tlaku a jeden pro měření dynamického tlaku. První tlakoměr (T1) měří tlak okolního vzduchu, druhý (T2) snímá tlak v dolní části zkušební komory. Pomocí těchto dvou se vypočítává tlakový spád na ventilu. Třetí tlakoměr (T3) snímá statický tlak před clonkou, čtvrtý (T4) dynamický tlak za clonkou. Pomocí třetího a čtvrtého tlakoměru se zjišťuje tlakový spád na clonce, a slouží k výpočtu skutečně proteklého množství vzduchu (m). [5]

V případě že stolice bude umístěna v místnosti kde je již nějaký kalibrovaný tlakoměr umístěný, je možné vypustit tlakoměr okolního vzduchu (T1). Pro tuto měřicí trať jsou navrženy elektronické převodníky tlaku typu 3300, od firmy Thermis. Převodníky jsou z nerezů s konektorem dle DIN 43 650, pro tlakové spády do 600 bar, s výstupem jak proudovým tak napěťovým. Pro zobrazení tlaku se použije zobrazovací jednotka ZED 601 od stejného dodavatele. [8]



Obr. 20 Převodník tlaku a zobrazovací jednotka

### 3.6.4 Teploměry

Je možno použít jakýkoliv kalibrovaný teploměr, snímač by měl být v takové vzdálenosti od sání do hlavy motoru aby byla zaručena správnost měřených údajů.

### **3.6.5 Clonky**

Měřicí clonka je navržena pro měření konkrétního motoru a slouží k změření skutečného množství proudícího vzduchu ( $m_{skut}$ ). Tvar, velikost i umístění clonky a snímačů tlaku musí odpovídat ČSN EN ISO 5167-2.

### **3.8 Počítačové vybavení**

Pro práci na navržené měřicí trati je potřebné mít k dispozici počítač vybavený základním operačním systémem a balíčkem MS Office. Na něm se jednak přepočítá otevření ventilů a jednak se na něm provede přepočet průtokového součinitele. Tyto dvě aplikace jsou nastaveny pro program Microsoft Office – Excel.

### 3.8.1 Software

V rámci řešení této bakalářské práce byl také vypracován jednoduchý výpočetní program v aplikaci MS Excel, pro výpočet kinematiky mechanismu a pro výpočet průtokového součinitele.

<b>PŘEPOČET MECHANISMU</b>		<b>KINEMATIKY</b>													
<b>ZADEJ HODNOTY :</b>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="padding: 5px;">Tabulka otvorů na rameni:</th> </tr> <tr> <th style="width: 50%; padding: 5px;">Číslo otvoru</th> <th style="width: 50%; padding: 5px;">Rozměr "a"</th> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">1.</td> <td style="padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">2.</td> <td style="padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">3.</td> <td style="padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px;"></td> </tr> </table>		Tabulka otvorů na rameni:		Číslo otvoru	Rozměr "a"	1.		2.		3.			
Tabulka otvorů na rameni:															
Číslo otvoru	Rozměr "a"														
1.															
2.															
3.															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%; padding: 5px;"><b>p =</b></td> <td style="width: 20%; padding: 5px;">mm</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>q =</b></td> <td style="padding: 5px;">mm</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>c =</b></td> <td style="padding: 5px;">mm</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>δ =</b></td> <td style="padding: 5px;">mm</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>a =</b></td> <td style="padding: 5px;">mm</td> </tr> </table>		<b>p =</b>	mm	<b>q =</b>	mm	<b>c =</b>	mm	<b>δ =</b>	mm	<b>a =</b>	mm				
<b>p =</b>	mm														
<b>q =</b>	mm														
<b>c =</b>	mm														
<b>δ =</b>	mm														
<b>a =</b>	mm														
<b>Požadované otevření ventilu:</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;"></td> <td style="width: 20%; padding: 5px;">mm</td> </tr> </table>			mm												
	mm														
<b>Potřebné utažení matice :</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;"></td> <td style="width: 20%; padding: 5px;">mm</td> </tr> </table>			mm												
	mm														

Tab. 1 Přepočet kinematiky mechanismu

## VÝPOČET PRŮTOKOVÉHO SOUČiniteLE

### ZADEJ HODNOTY:

Tlaky	T1 =	kPa
	T2 =	kPa
	T3 =	kPa
	T4 =	kPa
Teplota	Tb =	K
Střední průměr sedla ventilu	dv =	mm
Zdvih ventilu	h =	mm
Isoentropický exponent	k	=
Plynová konstanta	r	= kJ/kgK

### PRŮTOKOVÝ SOUČiniteL

$\mu =$

Tab. 2 Výpočet průtokového součinitele



## 4 Postup při měření

Postup měření jednotlivých kanálů různých motorů je v zásadě stejný, liší se pouze způsobem upnutí zkoušené hlavy motoru do měřicí trati. Popsaný způsob je postup upínání hlavy motoru Škoda 781.136/136

### 4.1 Příprava pro měření

Hlavu PSM je třeba k měření připravit demontáží veškerých mechanismů ovládajících ventily, jako je vačkový hřídel v hlavě, ventilová zdvihátka nebo ventilová vahadla. Ventily zůstanou v hlavě všechny včetně ventilových pružin. Do hlav není třeba vrtat žádné upevňovací otvory nebo je jinak upravovat či poškozovat.

Měřicí kanálová trať je připravena pro dva typy hlav, Škoda 781.135/136 a Škoda 1.2/40 kW-EA 111.03D. Pro měření jiných hlav je potřeba změřit rozteče a průměry jejich upevňovacích otvorů a vyvrtat stejné do základní desky.

Pro připevnění základní desky lze využít i jiných libovolných závitových otvorů v hlavě PSM, jako například pro připevnění ventilových vahadel nebo vačkového hřídele, pokud bude jejich počet a umístění zaručovat pevně spojení základní desky a hlavy motoru. V praxi bude postačovat i upevnění na tři šrouby.

Jedinou podmínkou je jejich únosnost a vhodnost rozmístění. Dále je potřeba vyrobit zkušební komoru s vnitřním průměrem odpovídajícím zvolenému motoru a délkou 1,75 násobku vnitřního průměru, s přírubami na obou koncích.

V případě upínání hlavy jejíž horní plocha není v rovině je potřeba vyrobit rozpěrky aby základní deska byla plně podepřena. Dále je potřeba zvolit vhodný typ a délku tlačného členu. Je třeba zjistit měřením nebo z údajů výrobce sklon ventilu od vodorovné roviny, polohu konce jeho dřívku od nulového bodu a zadat je do výpočetní softwaru kinematických převodů.

Pro měření hlav jiných motorů než je Škoda 781 je potřeba vybrat nebo vyrobit odpovídající clonku a připevnit jí mezi odpovídající příruby.

## ***4.2 Upevnění zkoušené hlavy PSM do kanálové trati a příprava mechanismu***

Sestavení kanálové trati se provede následovně, v případě že se bude měřit průtokový součinitel kanálu se jako první se na přírubu základního členu zkoušecí stanice Motorpal upevní zkušební komora. Pokud se bude měřit vírové číslo, tak se pod zkušební komoru připevní ještě člen s impulsním anemometrem.

Hlavy motorů Škoda 781 typu 135/136 anebo Š 1.2/40 kW-EA 111.03D se položí na zkušební komoru spalovacím prostorem dolů, tak aby otvory v přírubě komory odpovídaly otvorům v hlavě. Na hlavu se přiloží základní deska s kompletním mechanismem ovládání ventilu, opět odpovídajícími otvory na sebe. V případě hlavy motoru 781 se na nižší stranu hlavy vloží připravené rozpěrky, a deska se i s hlavou připevní šrouby (svorníky) pevně ke zkušební komoře.

Při připevnění je třeba pečlivě dbát na to aby osa vedená dříkem ventilu protínala rovinu kývání ramene. Jakákoliv odchylka od rovinnosti způsobí chybu výpočtu zdvihu ventilu. Snadná kontrola rovinnosti se provede například nasunutím krátké trubky na ventil, o vnitřním průměru shodném s průměrem dříku ventilu. Druhý konec trubky by měl protínat rameno mechanismu, nejlépe v místě čepu pro tlačný člen.

V případě že osa ventilů bude skloněna v jiné rovině než v rovnoběžné s příčným řezem hlavy, se povolí aretační šrouby a otočná deska se natočí vůči základní desce tak aby obě roviny byly shodné nebo alespoň rovnoběžné. Tím se minimalizují možné chyby při měření.

Aretační šrouby se poté utáhnou aby se zařízení nepootočilo během měření. Dále je potřeba zvolit jedno se tří možných uložení tlačného členu v ramenu. Je možné zvolit jakékoliv z nich, nejvhodnější je ale to které umožní maximální možnou rovnoběžnost osy dříku ventilu a osy tlačného členu.

Před počátkem měření je vhodné zkalibrovat odměřovací pravítko. To se provede odjetím ramene s jezdcem do dolní polohy na doraz, a vynulováním displeje. Tím je dán referenční bod „0“ pro zdvih ventilu.

Pojistná matice na seřizovacím šroubu se úplně vytočí, rameno se vyklopí směrem nahoru a tlačný člen se dolním koncem usadí na dřík ventilu. Pojistná matice se zašroubuje jen tak aby tlačný člen zlehka dosedal na ventilový dřík, ale aby ventil ještě neotevřel. Dalším zašroubováváním matice je poté přímo otevírán ventil(y).

Pro výpočet otevření ventilu je třeba do aplikace „otevření ventilu“ zadat pět požadovaných rozměrů. Jsou to vzdálenosti konce dříku ventilu ve vodorovném a svislém směru od referenčního bodu na otočné desce, délka tlačného členu od čepu, umístění tlačného členu v rameni a úhel odklonu osy ventilu od svislé osy. Míra utažení matice je následně přepočítána PC programem dle zadaného kinematického modelu z požadované hodnoty otevření ventilu.

Po spuštění stolice se otáčky vřetene nastaví tak aby byl na ventilu odpovídající tlakový spád. Ten má být při základním měření průtokového součinitele 2.45 kPa mezi tlakoměry  $T_1$  a  $T_2$ . Po ustálení tlaků se do aplikace „Průtokový součinitel“ zadají další požadované hodnoty jako jsou tlaky u clonky  $T_3$  a  $T_4$ , teplota vzduchu a hodnoty isoentropického součinitele a plynové konstanty vzduchu.

## **5 Alternativní řešení**

Během návrhu konstrukce měřicí kanálové trati se vyskytlo několik dalších možných řešení jednotlivých problémů. Vzhledem k tomu že do konečného návrhu byla zpracována vždy jen jedna varianta návrhu, jsou další možná řešení popsána v této kapitole.

### ***5.1 Dmychadlo a jeho pohon***

V případě že by se z nějakých důvodů nepoužila stolice Motorpal NC 104 jako zdroj pohonu, je možné buď k navrhovanému dmychadlu dokoupit firmou Energoekonom dodávaný elektromotor s výkonem 2,3 kW, a dmychadlo tak upravit na sériový typ SD 6 se špičkovými parametry cca 270 m<sup>3</sup>/hod vzduchu a tlakovým spádem do 25 kPa. Jako rámu pro upevnění všech prvků měřicí tratě by se použilo svařence, na který by se jednotlivé komponenty vhodně upevnily.

### ***5.2 Tlačný člen***

Pro měření víceventilových motorů lze vyrobit tlačný člen s rozšířením dolního konce ve tvaru písmene „T“, tak aby dosáhl na oba ventily zároveň. V tom případě je třeba zajistit aby se oba ventily stlačovaly stejnoměrně.

## 6 Výkresy

Výkresová dokumentace je součástí příloh. Jedná se o výkres sestavy měřící trati, výkresy podsestav měřící clonky a přípravku na upínání hlav motorů a také všechny výrobní výkresy použitých vyráběných komponentů. U prvků které se použijí buď starší jako je například impulsní anemometr, nebo se zakoupí jako třeba dmychadlo, se výkresová dokumentace omezuje na jejich připojovací rozměry a zástavbové místo v měřící trati.

## 7 Závěr

V mé bakalářské práci na téma „Měřicí trať pro zjišťování vlastností kanálů pístových spalovacích motorů“ jsem se zabýval návrhem konstrukce měřicí trati a jejích jednotlivých součástí.

Teoretická část práce je popsána ve druhé kapitole, praktická část je popsána ve třetí až šesté kapitole. Praktická část je většího rozsahu z důvodu aplikace teorie na dané zařízení.

Ve druhé kapitole nazvané „Teorie měření parametrů kanálů“ se věnuji teorii a výpočtům parametrů kanálů, zejména průtokového součinitele a vírového čísla. Ve třetí kapitole nazvané „Návrh měřicí tratě“ se zabývám celkovou koncepcí měřicí trati, zejména s ohledem na možnosti využití starší seřizovací stolice Motorpal NC 104. Tato kapitola také obsahuje návrh a stručný popis všech potřebných komponentů měřicí trati, jako je dmychadlo, jeho upnutí a způsob jeho pohonu, měřicí clonka, potrubní vedení vzdušin, podstava a uklidňovací objem. Velice důležitou součástí kapitoly je také návrh a popis univerzálního přípravku pro upínání různých typů hlav motorů, včetně popisu jejích možností a variant použití.

V dalších částech kapitoly specifikuji potřebná měřicí a záznamová zařízení jako jsou tlakoměry, teploměry, lineární odměřovací pravítko a impulsní anemometr. Nedílnou součástí je i popis jednoduchého softwaru pro přepočet kinematiky pohybu mezi ventilem a odměřovacím pravítkem a pro výpočet průtokového součinitele, včetně předpokládaných nároku na počítačové vybavení.

Čtvrtá kapitola „Postup při měření“ se zabývá nutnými úkony pro správné nastavení a bezchybnou obsluhu navržené měřicí trati a jejích jednotlivých komponent.

Pátá kapitola „Alternativní řešení“ pak nabízí možnosti záměny nebo úpravy některých prvků trati, šestá kapitola „Výkresová dokumentace“ obsahuje všechny potřebné výkresy pro výrobu a sestavení měřicí trati.

Při své práci jsem se opíral o odbornou literaturu, příručky a internetové stránky. Výsledkem mé práce je návrh konstrukce univerzální měřicí trati pro zjišťování vlastností kanálů pístových spalovacích motorů. Pevně věřím, že navržené zařízení se osvědčí a bude spolehlivě pracovat i v delším časovém horizontu.

## Seznam literatury a internetových odkazů

- [1] Ježek, J.: Rekonstrukce sacích kanálů v hlavě motoru LIAZ M1. – C, diplomová práce. TUL, Liberec, 1993
- [2] Vávra, P.: Strojnické tabulky, 2. vydání. Nakladatelství Albra, Úvaly, 2005  
ISBN 80-7361-011-6
- [3] Kolektiv autorů: Návod k obsluze zkoušecí stanice Motorpal NC 104
- [4] Časopis Automatizace, ročník 48, číslo 12, prosinec 2005
- [5] Časopis Průmyslové spektrum, ročník 2002, s. 36
- [6] Internetový katalog dmychadel firmy Energoekonom [online] 15. 5. 2008 [www.2e.cz](http://www.2e.cz)
- [7] Internetový katalog dmychadel firmy Kompresory Svoboda [online] 23. 4. 2008  
[www.kompresory-svoboda.cz](http://www.kompresory-svoboda.cz)
- [8] Internetový katalog převodníků tlaků firmy Thermis [online] 10. 5. 2008  
[www.volny.cz/thermis/prevod.tlak.htm](http://www.volny.cz/thermis/prevod.tlak.htm)